جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره نهم، بهار ۱۳۹۳

صص ۱۵-۱

ارزیابی پتانسیل روانگرایی خاک در اثر وقوع زلزله با استفاده از روش Vs (مطالعه موردی: شهر اردبیل)

فریبا اسفندیاری درآباد[۱]- دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

عطا غفاری گیلانده - استادیار جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

خداداد لطفی- کارشناس ارشد جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/٤/۱۰ تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۲/۱۵

چکیده

کشور ایران در یکی از مناطق مهم لرزه خیز دنیا واقع شده و تاکنون شاهد وقوع زمین لرزه‌های شدیدی بوده است. وقوع زمین لرزه با خطراتی برای زندگی بشر همراه است که از جمله خطرهای ناشی از آن، خطرهای ژئوتکنیکی است. یکی از خطرهای ژئوتکنیکی مهم، پدیده روانگرایی می‌باشد. روانگرایی خاک، دلیل بسیاری از خرابی‌های ناشی از زلزله است. بروز پدیده روانگرایی در حین زلزله می‌تواند خسارات زیادی به شریان‌های حیاتی، کج شدن و فرو رفتن سازه‌های روزمینی و بالا آمدن سازه‌های سبک مدفون در خاک (مثل لوله‌ها) و پر شدن چاه‌های آب گردد. منطقه مورد مطالعه (شهراردبیل) بر روی یک دشت رسوبی با مواد سست آبرفتی استقرار یافته و در طول تاریخ، شاهد وقوع زلزله‌های متعددی بوده است؛ از این رو می‌تواند مستعد وقوع روانگرایی باشد. در این تحقیق، روش اندازه گیری سرعت موج برشی (Vs) جهت ارزیابی پتانسیل روانگرایی خاک‌های شهر اردبیل مورد استفاده قرارگرفته است. نتایج به دست آمده از این مطالعات برای شرایط سیمانی، نشان می‌دهد بخش‌هایی از منطقه (۱ و ۲) شهرداری، با خطر زیاد روانگرایی مواجهه‌اند و در شرایط بدون سمنتاسیون، بخش‌هایی از مناطق ۱ و ٤، با خطر خیلی زیاد به جهت احتمال وقوع روانگرایی همراه هستند.

کلیدواژه‌ها: اردبیل، روانگرایی خاک، زمین‌لرزه،سرعت موج برشی (Vs).

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۸۵۷۹۸٤۸

Email: Fariba_Sfandyary@yahoo.com

۱. مقدمه

افزایش فشار آب منفذی در خاک‌های ماسه‌ای و لایه‌های سست اشباع، در هنگام زلزله بر اثر تمایل خـاک بـه کـاهش حجم، منجر به کاهش تنش همه جانبه در خاک می‌شود. در این حالت، مقاومت برشی خاک به شدت کاهش می یابد و به مقدار صفر نزدیک می‌شود. به این پدیده روانگرایی می گویند (سید،[1] ۱۹۷۱: ۹۷).

روانگرایی خاک، دلیل بسیاری از خرابی‌های ناشی از زلزله می‌باشد. پس از روانگرایی‌های گـسترده‌ای کـه در دو زلزلـه ویرانگر سال ۱۹٦٤ نیگاتا (ژاپن) و آلاسکا (آمریکا) به وقوع پیوستند، توجه مهندسین ژئوتکنیک به این پدیـده جلـب شـد (فرخ زاد، ۲۰۱۲: ۹۰). مطالعات پهنه بندی پدیده روانگرایی در ایران پس از به وقوع پیوستن زمـین لـرزه مخـرب منجیـل توسط موسسه بین المللی زمین لرزه شناسی و مهندسی زمین لرزه آغاز گردید و نتایج آن اطلاعات به صورت نقشه کـلان پهنه بندی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ تهیه و ارائه گردید (پاسه، ۱۳۸۸: ١٦). در طول ٤۰ سال گذشته پیشرفت قابل تـوجهی در زمینه درک مکانیزم روانگرایی و عوامل مؤثر بر آن صورت گرفته است. در سال‌های آغازین، بیشتر توجـه متخصـصین بـه بررسی این پدیده در ماسه‌های تمیز معطوف شده بود؛ به طوری که تصور می‌شد روانگرایی تنها مختص ماسه‌هـا اسـت و خاک‌های ریزدانه و درشت دانه قابلیت تولید فشار اضافی آب حفره‌هایی را که دلیل اصلی روانگرایی است، نـدارد. امـا بـا گذشت زمان و وقوع زلزله‌های جدید و مشاهده این پدیده در خاک‌های درشت دانه و ریـز دانـه، محققـان زیـادی بـر آن شدند که عوامل مؤثر بر روانگرایی این خاک‌ها را نیز روشن سازند (قهرمانی، ۱۳۸۵: ۷۱).

در این میان ماسه‌های رس دار چندان مورد توجه قرار نگرفت چون تصور محققین این بود که چـسبندگی رس باعـث جلوگیری از وقوع روانگرایی می‌شود، ولی با توجه بر مشاهدات توهنو و یاسودا[2] در زلزله سال ۱۹۸٦ توکـاچی –اوکـی، خاک‌های حاوی ۹۰ درصد ریزدانه و ۱۸ درصد رس روانگرا شدند و میورا و همکاران روانگرایـی خـاک‌هـای دارای ٤۸ درصد ریزدانه و ۱۸ درصد رس را در زلزله سال ۱۹۹۳ هوکایدو نانسایی –اوکی گزارش کرده است (اثنی عشری، ۱۳۸۹).

با توجه به نتایج تحقیقات موجود، بزرگی زمین لرزه و مدت زمان آن، دامنه تنش برشی اعمالی بر توده خـاک در زمـان وقوع زمین لرزه و تراکم نسبی، درصد ریزدانه و نشانه خمیری خاک از مهم‌ترین عوامل مؤثر در بروز پدیده روانگرایـی در یک ساختگاه می‌باشد (عسکری، ۲۵۷:۱۳۸۲). بروز این پدیده در زمین لرزه‌های گذشته باعث وارد آمدن صـدمه‌هـای بـه نسبت زیادی به شریان‌های حیاتی و شالوده سازه‌ها بوده است. بنابراین برای مقابله بـا آثـار مخـرب آن، شناسـایی منـاطق مستعد روانگرایی بسیار ضروری است. این شناسایی می‌تواند به شکل پهنه بندی که در آن پتانسیل خطر در مناطق مختلف تعیین می‌شود، انجام گیرد (عسکری، ۱۳۸۵: ۹۵).

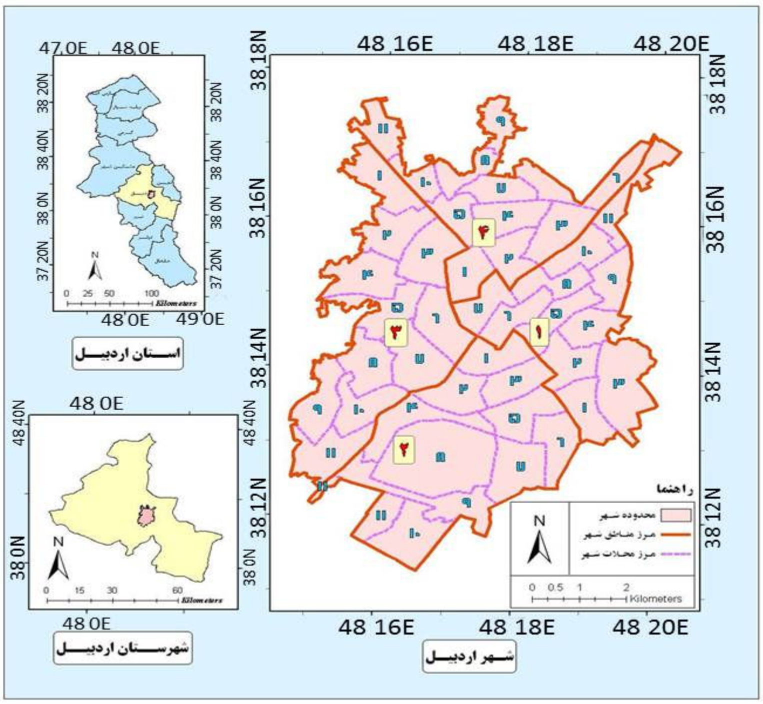
ماسه‌ها و ماسه‌های لایدار مستعدترین رسوبات برای وقوع روانگرایی هستند؛ مخصوصاً اگر از دانـه بنـدی ضـعیفی برخوردار باشند. از طرف دیگر رسوباتی مستعد آبگونگی‌انـد کـه در زیـر سـطح ایـستابی قـرار گرفتـه و اشـباع شـده

1 Seed
2 Tohono and Yasouda

باشند(معماریان، ۱۳۷۷: ٥٥٦). منطقه مورد مطالعه(شهر اردبیل) بر روی یک دشت آبرفتی استقرار یافته و به وسیله‌ی زنجیراه ای از گسل‌ها احاطه شده است که از مهم‌ترین این گسل‌ها می‌توان به گسل نئور، گسل آستارا و گسل هیر اشاره کرد. وجود این گسل‌ها و سابقه لرزه خیزی آن‌ها و همین طور قرار گیری شهر اردبیل روی سازندهای سست آبرفتی همواره آن را در برابر وقوع زمین لرزه و روانگرایی خاک که از پیامدهای زلزله است، مستعد آسیب ساخته است. در سال‌های اخیر روش‌های آزمایشگاهی و صحرایی متعددی جهت ارزیابی مقاومت روانگرایی خاک‌ها ارائه شده است. در این تحقیق، روش اندازه گیری سرعت موج برشی(Vs) جهت ارزیابی پتانسیل روانگرایی خاک‌های شهر اردبیل مورد استفاده قرار گرفته است.

۲. موقعیت منطقه مورد مطالعه

شهر اردبیل در شمال غرب کشور و دامنه‌های شرقی سبلان، در ارتفاع ۱۳٤۰ متری از سطح دریا بین مدارهای ۳۸درجه و ۱۱دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۸ دقیقه عرض شمالی از مدار استوا و ٤۸ درجه و ۱٤دقیقه تا ٤۸ درجه ۲۰ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویج قرار گرفته است. این شهر در سال ۱۳۹۰ جمعیتی افزون‌بر ٤۸۰،۰۰۰ نفر را در خود جای داده است که با این جمعیت و مساحت ٦۳۰۰ هکتاری، تراکم ناخالص ۷٦ نفر در هر هکتار را نشان می‌دهد. قسمت عمده نشستگاه شهر اردبیل را رسوبات دوران کواترنری پوشانده است. به‌طور کلی، شهر و محدوده‌های اطراف آن (شمال، غرب و شرق) روی رسوبات دشت و پادگانه‌های آبرفتی جوان و مخروطه‌افکنه‌ها پراکنده شده است (شکل ۱).



شکل ۱ نقشهٔ موقعیت محدودهٔ مورد مطالعه

۳. مواد و روش‌ها

اطلاعات مورد استفاده در این پژوهش بر پایه استفاده از منابع کتابخانه‌ای، اسنادی، دیجیتالی و پایگاه‌های اینترنتی مرتبط با موضوع تحقیق و با مراجعه به سازمان‌ها و ارگان‌ها است. در این رابطه داده‌های مربوط به عمق سطح ایستابی از اندازه گیری‌های ماهانه شرکت سهامی آب منطقه ای اردبیل که در سطح شهر اردبیل در مورد چاه‌های حفر شده انجام پذیرفته بود استفاده گردید. همین‌طور اطلاعات مربوط به دانه بندی خاک، زاویه اصطکاک، تراکم و... از شرکت سهامی آزمایشگاه فنی مکانیک خاک استان اردبیل تهیه گردید.

برای برآورد روانگرایی خاک با استفاده از V_S، روش ارائه شده توسط انستیتو ملی تکنولوژی و تحقیقات آمریکا[1](NIST,1999) مورد استفاده قرار گرفته است(آندروس[2] و همکاران، ۱۹۹۹). این انستیتو در سال۱۹۹۹ ضمن بررسی کلیه مطالعات آزمایشگاهی، مطالعات تحلیلی، روابط میان نتایج آزمایش‌های نفوذ استاندارد و سرعت موج برشی و داده‌های صحرایی و اندازه گیری سرعت موج برشی در محل تا آن زمان، و با مقایسه نتایج حاصل از روابط بین نسبت مقاومت تناوبی[3](CRR) و سرعت موج برشی اصلاحی(V_{SI}) که توسط روبرتسون[4] و همکاران(۱۹۹۲)، کائن[5] و همکاران(۱۹۹۲)، لودژ[6](۱۹۹٤) و آندروس[7] و همکاران(۱۹۹۷) به دست آمده بود منحنی‌هایی را ارائه نمود.

٤. بحث و نتایج

پارامترهای مؤثر بر پتانسیل روانگرایی

- ✓ **نحوه‌ی توزیع اندازه‌ی ذرات:** ماسه‌های ریز دانه و یکنواخت در مقایسه با ماسه‌های درش دانه‌تر، تحت شرایط یکسان، آمادگی و قابلیت بیشتری جهت روان شدن دارند.
- ✓ **میزان دانسیته‌ی نسبی اولیه‌ی توده‌ی ماسه:** با افزایش دانسیته‌ی نسبی اولیه مصالح، مقادیر نشست‌ها و فشار آب حفره ای هر دو به میزان قابل ملاحضه ای در بارگذاری‌های ارتعاشی تقلیل می‌یابند. بنابراین احتمال وقوع پدیده‌ی روانگرایی با افزایش دانسیته‌ی نسبی و تراکم ماسه کاهش پیدا خواهد کرد.
- ✓ **خصوصیات و ماهیت بارهای ارتعاشی:** نشست‌های ایجاد شده در ماسه تحت اثر ارتعاشات افقی به مراتب بیشتر از ارتعاشات قائم می‌باشد. همچنین طول مدت زلزله یا به عبارتی مدت زمانی که ماسه در

---

1 National Institute of Standard and Technology(NIST)
2 Andrus
3 Cyclic Resistant Ratio(CRR)
4 Robertson
5 Kayen
6 Lodge
7 Andrus

حالت مایع باقی می‌ماند رابطه‌ی مستقیمی بـا میـزان خـسارت‌هـای وراده ه سـازه‌هـا ناشـی از پدیـده‌ی روانگرایی دارد.

- ✓ **ماهیت و مقدار بارهای وارده:** اعمال تنش‌های همگن بر توده‌ی ماسه موجب ایجاد تنش‌های مـؤثر اولیـه در خاک خواهد شد که احتمال وقوع روانگرایی را کاهش می‌دهد.
- ✓ **مدت شکل‌گیری توده ماسه:** ماسه‌ی دست نخورده در مقابل ماسه‌ی بازسازی شده از همـان نـوع، تـا ۷۵ درصد افزایش مقاومت در برابر روان گرایی از خود نشان می‌دهد(حوتی، ۱۳۸٤: ۱۹۲).

با توجه به نقش مهمی که عمق سطح ایستابی و ویژگی‌های خاک یک منطقه در میزان روانگرایی دارد، لذا؛ اطلاعات ژئوتکنیکی ۹ گمانه حفاری شده توسط آزمایشگاه مکانیـک خـاک اسـتان و همـین طـور اطلاعـات سازمان آب منطقه‌ای اردبیل در خصوص عمق سطح ایستابی در شهر اردبیل برای ارزیـابی خطـر روانگرایـی مورد استفاده قرار گرفته است.

سرعت موج S (V_S) با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید:

رابطه‌ی(۱)
$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}}$$

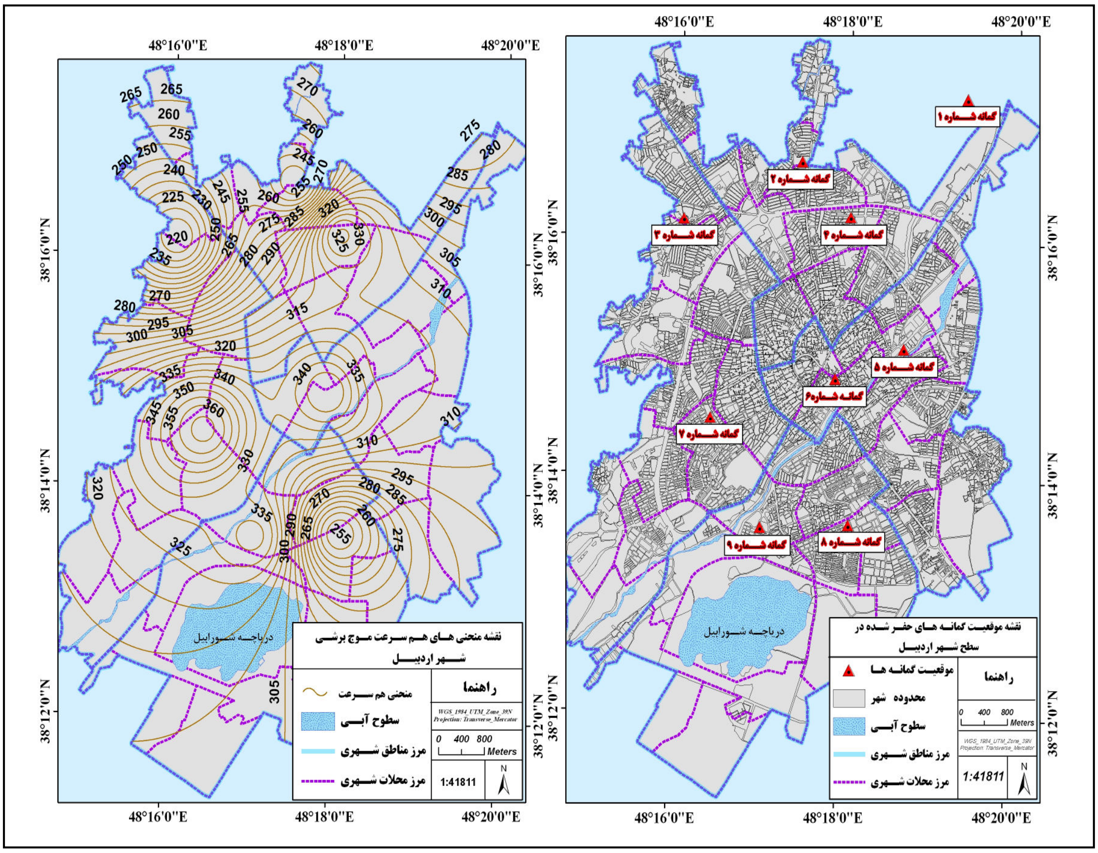
در رابطه فوق:

μ ضریب صلبیت[۱] یا ضریب برشی دینامیکی(مقاومت در برابر تغییـر شـکل برشـی)بـر حـسب Kg/m^2 یـا پاسکال است، ρ چگالی[۲] مواد تشکیل دهنده‌ی زمین بر حسب Kg/m^3 اسـت، E ضـریب یانـگ یـا ضـریب الاستیسیته برحسب Kg/m^2 یا پاسکال است و ν نسبت پواسون یا نسبت تغییر شکل قطری بـه تغییـر شـکل طولی بوده، بنابراین فاقد واحد می‌باشد(پورکرمانی، ۱۳۷٦ :۳۰) اندازه‌ی دانه‌هـای تـشکیل دهنـده‌ی خـاک در دامنه‌ی وسیعی متغیر است. بر حسب اندازه‌ی دانه‌هـا، خـاک‌هـا معمـولاً شـن، ماسـه، لای و یـا رس نامیـده می‌شوند. برای تشریح خاک‌ها، سازمان‌های مختلـف حـدود جداکننـده‌ی انـدازه‌ی دانـه‌هـای خـاک پیـشنهاد می‌کنند. در این بین حدود پیشنهادی، توسط سیستم طبقه بندی متحد خاک[۳](USCS) متداول‌ترین است. ایـن سیستم مورد پذیرش اداره‌ی استاندارد آمریکا(ASTM[4]) قرار گرفته اسـت(براجـا.ام.داس، ۱۳۷٦: ۹-۱۱). بـا توجه به تأثیر نوع و ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک‌ها در میـزان قابلیـت روانگرایـی مطالعـه و بررسـی دقیق‌تر این ویژگی‌ها اهمیتی روز افزون می‌یابد؛ چرا که خاک‌های رسی به دلیل چسبندگی ذاتی و خاک‌هـای شنی به علت مستهلک کردن سریع فشار آب منفذی به هنگام زلزله از قابلیت روانگرایی بسیار کمی برخوردار

---

1 Modulus of rigidity
2 Density
3Unified Soil Classification System
4 American Socicty for Testing Materials

هستند. خاک‌های ماسه‌ای ریز و لای دار سست، به دلیل نداشتن چسبندگی قابـل ملاحظـه، تمایـل خـاک بـه کاهش حجم بر اثر ارتعاشات ناشی از زلزله و عدم زهکشی مناسب مستعد روانگرایـی مـی‌باشـند(عـسکری، ۱۳۸۵: ۹۷). شکل (۲) موقعیت گمانه های حفر شده در سطح شهر اردبیل و همین طور سرعت امـواج انـدازه گیری شده در سطح شهر را نشان می‌دهد. منحنی دانه بندی تعدادی از گمانه‌هـا کـه بـه روش یونیفایـد تهیـه شده در شکل (۳) قابل مشاهده است.



شکل۲ نقشه موقعیت گمانه‌های حفر شده در سطح شهر اردبیل و همین طور سرعت امواج اندازه گیری شده در سطح شهر

ارزیابی پتانسیل روانگرایی با روش سرعت موج برشی(V_S)

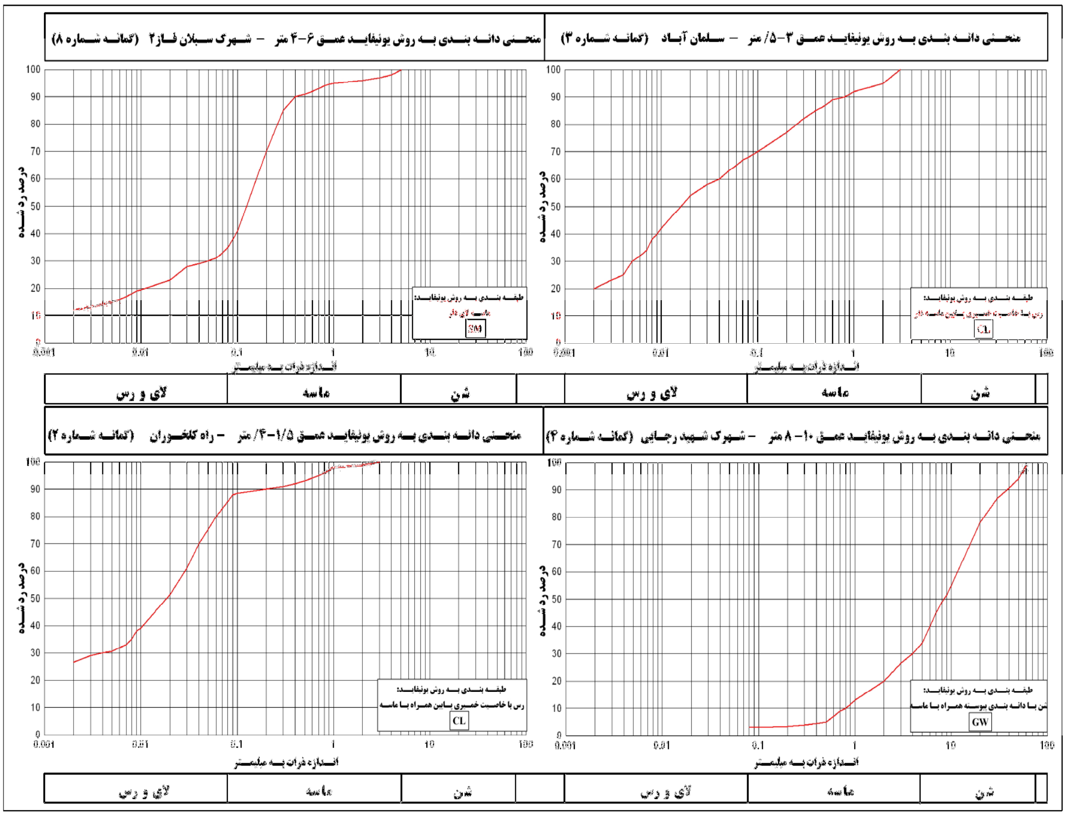
ارزیابی خاک‌های مستعد روانگرایی(ماسه و لای) با استفاده از مقدار سرعت موج برشـی در مقایـسه بـا روشSPT، روشی جدید است از این رو مطالعات انجام یافته در این زمینه نیز محدود است. در این روش بـه جـای اسـتفاده از از عددSPT، از مقدار سرعت موج برشی برای ارزیابی مقاومت روانگرایی آن استفاده می‌شود. چنانچه گفته شـد یکـی از مهم‌ترین مراجع موجود در این روش، نمودارهای ارائه شده توسط انستیتو ملی تحقیقات و تکنولـوژی آمریکـا کـه در

سال ۱۹۹۹منتشر شده می‌باشد. در این روش مقدار سرعت موج برشی کـه بوسـیله رابطـه (۱) بـه دسـت آمـد، مـورد استفاده قرار گرفته است. مطابق این روش مقدار سرعت به دست آمده در عمق‌های مـورد مطالعـه بایـد بـا اسـتفاده از رابطه(۲) نسبت به تنش مؤثر قائم در همان عمق اصلاح شود:

رابطه(۲)

$$V_{SI} = V_s \left(\frac{p_a}{\sigma_v'}\right)^{0.25}$$

در رابطه فوق، V_{SI} سرعت موج برشی اصلاح شده، p_a فشار اتمسفر(برابر با ۱۰۰kPa) و σ_v' مقـدار تـنش مؤثر قائم در عمق مورد مطالعه است.



شکل۳ منحنی‌های دانه بندی به روش یونیفاید شهر اردبیل

مقدار مقاومت برشی تناوبی توده خاک(CRR) با استفاده از رابطه اندروس – استوک که در سال۱۹۹۸ توسط NIST تعمیم داده شده محاسبه می‌شود (آندروس و همکاران، ۱۹۹۹).

رابطه(۳)

$$CRR = \left\{0.055\left(\frac{cV_{SI}}{100}\right) + 2.8\left(\frac{1}{V^*_{SI} - cV_{SI}} - \frac{1}{V^*_{SI}}\right)\right\} MSF$$

در رابطه (٤)، V^*_{SI} حداکثر سرعت موج برشی برای وقوع روانگرایی است که بـه صـورت زیـر بـر اسـاس درصد ریزدانه(FC) به دست می‌آید:

رابطه(٤)

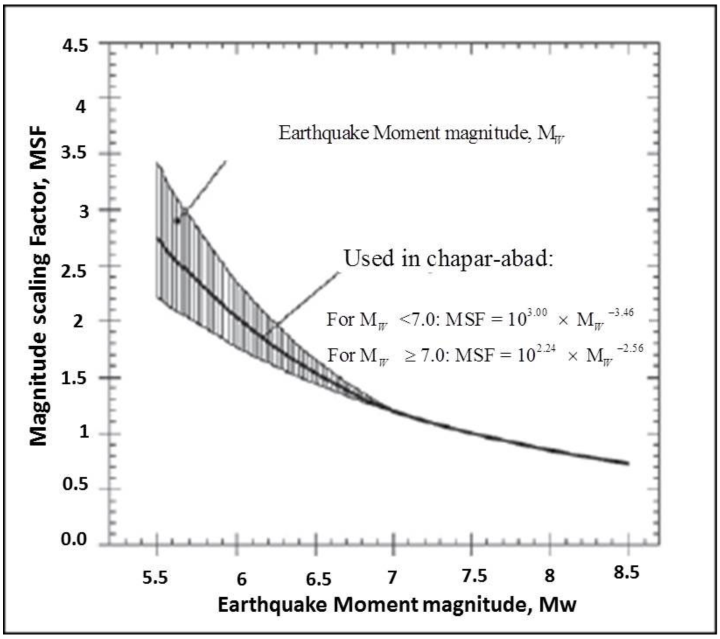
$$V^*_{sl} = 200m/s \quad FC \geq 35\%$$
$$V^*_{sl} = 215 - 0.5(FC)m/s \quad 5\% \leq FC \leq 35\%$$
$$V^*_{sl} = 215m/s \quad FC \leq 5\%$$

پارامتر MSF، فاکتور مقیاس بزرگای زلزله است که با رابطه(۵) محاسبه می‌شود:

رابطه(۵)

$$MSF = (\frac{M_W}{7.5})^{-2.56}$$

در تحقیق حاضر M_W=7/3 فرض شده است و فاکتور مقیاس(MSF) برابر ۱/۰۸محاسبه گردیده است. شکل(٤) همبستگی بین بزرگی زمین لرزه و ضریب تصحیح بزرگی را نشان می‌دهد.



شکل٤ همبستگی بین بزرگی زمین لرزه و ضریب تصحیح بزرگی (برزگری، ۱۳۸۷: ٦٥)

ضریب c، پارامتری است که مربوط به درجه سمنتاسیون خاک است. اگر سن توده‌های خاک بیشتر از ۱۰۰۰۰ سال باشد مقدار پارامتر c بین ۰/٦ تا ۰/۸متغییر است که در این مطالعه c = ۰/۷ در نظر گرفته شده است؛ در صورتی که خاک بدون سمنتاسیون و یا سن کمتر از ۱۰۰۰۰باشد، مقدار c برابر با یک در نظر گرفته می‌شود. طبق طرح ارائه شده توسط NIST، مقدار تنش برشی تناوبی ایجاد شده(CSR[1]) بر اثر وقوع زلزله در عمق مورد مطالعه، با استفاده از رابطه(٦) که توسط سید و ادریس در سال ۱۹۷۱ارائه شده به دست می‌آید:

رابطه(٦)

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma} = 0.65(\frac{a_{max}}{g})(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v}) \times r_d$$

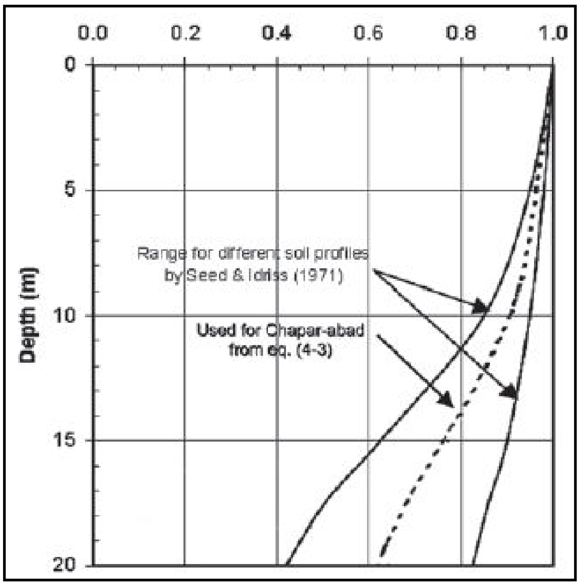
1 Cyclic Stress Ratio(CSR)

در این رابطهτ_{av} ، تنش برشی متوسط ایجاده شده بر اثر وقوع زمین لرزه در عمق مورد مطالعـه، σ_v تـنش کـل در عمق مورد مطالعه،σ'_v تنش موثر در عمق مورد مطالعه، g شتاب ثقل و r_d ضریب کاهش تنش می باشد.
در این تحقیق حداکثر شتاب ثقل با توجه به رابطه دونووان(D) ۰/۳ در نظر گرفته شده است.

رابطه (۷)
$$a = \frac{1080 e^{/5M}}{(R+25)^{1/32}}$$

در این رابطه a حداکثر شتاب در مقیاس گال، M بزرگی زلزلـه در مقیـاس ریـشتر و R فاصـله از گـسل برحسب کیلومتر می‌باشد.

مقدار ضریب کاهش تنش براساس نمودار شکل(۵) به دست می‌آید.



شکل۵ نمودار مقدار ضریب کاهش تنش با افزایش ژرفا (برزگری، ۱۳۸۷: ٦٤)

لازم به توضیح است که اگر در عمق مورد مطالعه، به شرط آن که در آن عمق تنش قائم مؤثر از۱۰۰ KPa تجاوز کند، با استفاده از رابطه (۸) اصلاح می‌شود:

رابطه(۸)
$$CRRj = k_{\sigma'} . CRR$$

در این رابطه، (CRR) مقدار مقاومت برشی تناوبی توده خـاک در عمـق مـورد مطالعـه و (CRRj) مقاومـت برشی تناوبی اصلاح شده توده خاک است. پارامتر $k\sigma$ ، ضریبی تقریبی است که تابع سست یا متـراکم بـودن خاک است و می‌توان از رابطه(۹) مقدار آن را به دست آورد.

رابطه(۹)
$$k\sigma = \left(\frac{\sigma'_v}{100}\right)^{f-1}$$

برای خاک‌های سست $f=$ ۰/۸، برای خاک‌های با تراکم متوسط $f=$ ۰/۷ و برای خاک‌های بسیار متراکم $f=$ ۰/٦ می‌باشد. در این تحقیق $f=$ ۰/۷ در نظر گرفته شد.

مقدار ضریب اطمینان در مقابل روانگرایی با استفاده از رابطه(۱۰) محاسبه می‌شود:

رابطه (۱۰)

$$FS = \frac{CRRj}{CSR}$$

ضریب اطمینان کمتر از یک نشان دهنده احتمال وقوع روانگرایی در عمق مورد بررسی می‌باشد.

جهت برآوردن شدت روانگرایی احتمالی در محدوده مورد مطالعه، از روش ارائه شده توسط ایواساکی و همکاران استفاده می‌کنیم.

رابطه(۱۱)

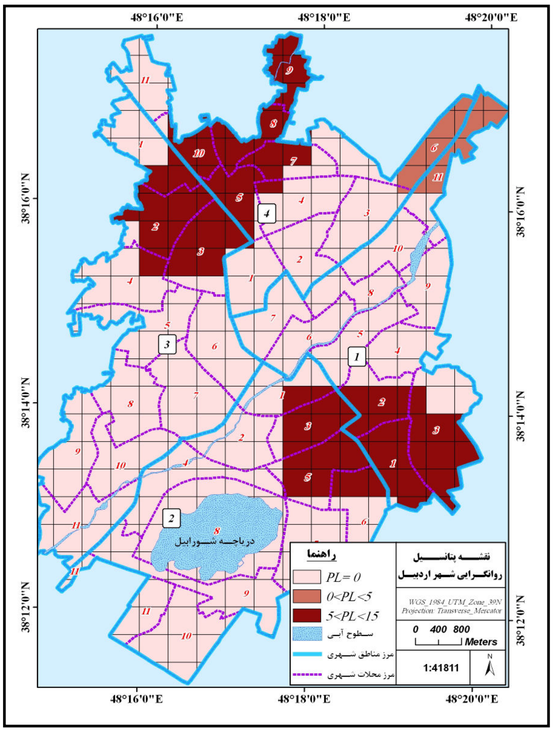
$$PL = \int_0^{20} (1 - FS)(10 - 0.5Z)dZ$$

در رابطه فوق، PL شاخص پتانسیل روانگرایی و FS ضریب اطمینان در مقابل روانگرایی در عمق Z می‌باشد. مقدار PL بین صفر تا ۱۰۰ می‌باشد.

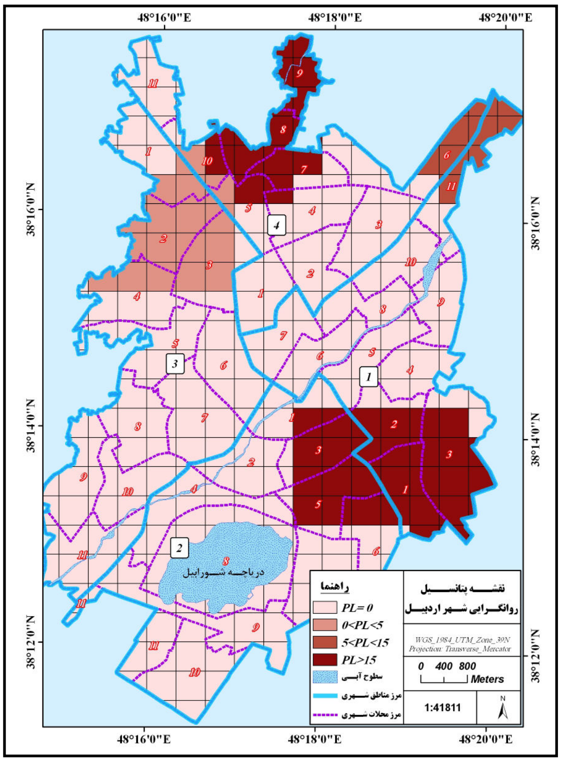
شاخص پتانسیل روانگرایی را می‌توان در ٤ طبقه تقسیم بندی کرد که جدول(۱) این تقسم بندی را نشان می‌دهد.

جدول۱ تعیین میزان خطر روانگرایی براساس شاخص روانگرایی(**P_L**)

$P_L=0$	خطر روانگرایی خیلی کم است و عموماً نیاز به تحقیقات و مطالعات دقیق نمی‌باشد.
$0 < P_L \leq 5$	خطر روانگرایی کم است، با این حال نیاز به تحقیقات و مطالعات دقیق برای سازه‌های مهم می‌باشد.
$5 < P_L \leq 15$	خطر روانگرایی زیاد است و نیاز به تحقیقات و مطالعات دقیق برای انواع سازه‌ها می‌باشد. استفاده از روش‌های کاهش مخاطرات روانگرایی معمولاً ضرورت دارد.
$P_L > 15$	خطر روانگرایی خیلی زیاد است و نیاز به تحقیقات و مطالعات دقیق می‌باشد. استفاده از روش‌های کاهش مخاطرات روانگرایی ضروری است.



شکل ٦ نقشه پتانسیل روانگرایی شهر اردبیل در خاک با سمنتاسیون، خروجی حاصل از روش **Vs**



شکل ۷ نقشه پتانسیل روانگرایی شهر اردبیل در خاک بدون سمنتاسیون، خروجی حاصل از روش **Vs**

۵. نتیجه‌گیری

با استفاده از روش Vs و اصول مترتب بر آن، پتانسیل روانگرایی شهر اردبیل در دو حالت خاک با شرایط سیمانی و بدون شرایط سیمانی مورد ارزیابی قرار گرفت و خروجی‌هایی به شکل نقشه‌های پتانسیل روانگرایی حاصل شد؛ شکل‌های(٦ و ٧).

نتایج به دست آمده از این مطالعات برای شرایط سیمانی (شکل ٦)، نشان می‌دهد که در اغلب بخش‌های مرکزی و جنوب غرب محدوده مورد مطالعه که عمدتاً دارای بافت خاک شنی درشت دانه هستند، احتمال وقوع روانگرایی وجود ندارد و به همین دلیل شاخص پتانسیل روانگرایی(PL) برای این مناطق برابر صفر است. بر اساس یافته‌های موجود، بخش‌های شمال شرق شهر، محدوده‌های واقع در منطقه ۱ و ٤ شهرداری که به ترتیب شامل محلات ۱۱ و ٦ می‌باشد، دارای شاخص پتانسیل روانگرایی بین ۵ تا ۰ است که بر اساس اصول مندرج در جدول(۱)، خطر وقوع روانگرایی را با احتمال کم نشان می‌دهد؛ با این حال نیاز به تحقیقات و مطالعات دقیق برای سازه‌های مهم می‌باشد. همچنین بر اساس نتایج حاصل از بررسی‌ها، محدوده‌های واقع در شمال غرب و جنوب شرق شهر اردبیل که به ترتیب شامل بخش‌هایی از منطقه (۳ و ٤) و همین طور بخش‌هایی از منطقه (۱و ۲) شهرداری می‌باشند، دارای شاخص روانگرایی بین ۱۵تا ۵ است که بر اساس موارد ذکر شده در جدول (۱)، خطر زیاد روانگرایی را در این مناطق نشان می‌دهد. از این رو نیاز به تحقیقات و مطالعات دقیق برای انواع سازه‌ها در این مناطق حائز اهمیت است و استفاده از روش‌های کاهش مخاطرات روانگرایی معمولاً ضرورت دارد.

خروجی حاصل از مطالعه پتانسیل روانگرایی برای خاک‌های بدون سمنتاسیون (شکل ٧)، همانند مورد قبل، برای بخش‌های مرکزی و جنوب غرب شهر، به دلیل درشت دانه بودن بافت خاک و مستهلک کردن فشار آب منفذی، نشان از عدم وقوع روانگرایی دارد. این در حالی است که در بخش شمال غربی شهر که شامل بخش‌هایی از منطقه ۳ شهرداری است، شاخص پتانسیل روانگرایی بین ۵ تا ۰ می‌باشد. بخش شمالی و جنوب شرق محدوده مورد مطالعه، واقع در مناطق ۱ و ٤، براساس خروجی حاصل از روش Vs، دارای شاخص روانگرایی بیشتر از ۱۵است که با خطر خیلی زیاد به جهت احتمال وقوع روانگرایی همراه می‌باشند. به همین خاطر نیاز به تحقیقات و مطالعات دقیق می‌باشد و استفاده از روش‌های کاهش مخاطرات روانگرایی ضروری است. نتایج به دست آمده از بررسی‌ها نشان می‌دهد در قسمت شمال شرق محدوده مورد مطالعه، شاخص پتانسیل روانگرایی بین ۱۵ تا ۵ می‌باشد که بیانگر احتمال زیاد برای وقوع پدیده روانگرایی است.

به دلیل تجربه محدود استفاده از Vs برای ارزیابی روانگرایی خاک، پیشنهاد می‌شود تا مطالعات بیشتری برای ارزیابی قابلیت استفاده از آن صورت گیرد. این امر از آن جهت حائز اهمیت است که ارزیابی سرعت

موج برشی خاک در مقایسه با SPT، ارزان‌تر بوده و برآورد آن کمتر از برآورد عددSPT، تابع شرایط متفاوت از نظر حفاری و اصلاحات مربوطه می‌باشد.

کتابنامه

اثنی عشری، مهدی؛ باغبان زاده دزفولی، امین؛۱۳۸۹. تأثیر میزان ریزدانه خمیری و پلاستسیته در رفتار روانگرایی استاتیکی ماسه سست. پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران. دانشگاه فردوسی مشهد. ١٤ تا ١٦ اردیبهشت ۱۳۸۹.

برزگری، قدرت؛ ارومیه‌ای، علی؛ ۱۳۸۵. ارزیابی پتانسیل روانگرایی پی آبرفتی ساختگاه سد مخزنی چپرآباد بر اساس نتایج آزمایش نفوذ استاندارد(SPT). مجله علوم زمین. سال هفدهم. شماره ٦٨. تابستان ۱۳۸۷. صص ٥٦ – ٦٧.

پورکرمانی، محسن؛ آرین، مهران؛ ١٣٧٦. سایزموتکتونیک و لرزه زمین ساخت، انتشارات شرکت مهندسین مشاور دز آب، چاپ اول، زمستان.

پاسه، حمید؛ ۱۳۸۸. مطالعه عددی روانگرایی پی‌های آبرفتی سدهای خاکی تحت بار گذاری زلزله. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران – مکانیک خاک و مهندسی پی دانشگاه تربیت مدرس.

حوتی، امیر؛ فرهادی، علی؛ ١٣٨٤. پیش بینی بروز روانگرایی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. مجموعه مقالات نهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران. دانشگاه تربیت معلم.

داس، براجا. ام؛ ١٣٧٦. اصول مهندسی ژئوتکنیک، جلد اول مکانیک خاک. ترجمه شاپور طاحونی. انتشارات پارس آئین. چاپ چهارم. پاییز .١٣٧٦.

سازمان آب منطقه ای آذربایجان شرقی و اردبیل، معاونت مطالعات پایه منابع آب؛ گزارش حفاری‌های چاه اکتشافی و پیزومتر مجاور آن در دشت اردبیل. مرداد ۱۳۷۵.

سازمان آب منطقه ای آذربایجان شرقی و اردبیل، معاونت مطالعات پایه منابع آب؛ گزارش حفاری‌های چاه اکتشافی و پیزومتر مجاور آن در دشت اردبیل. اردیبهشت ۱۳۸۱.

شرکت سهامی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان اردبیل؛ سلسله مطالعات بهسازی لرزه‌ای مدارس شهر اردبیل. مطالعات ژئوتکنیک. تیر۱۳۸۳ – خرداد۱۳۸۹.

عسکری، فرج اله؛ کسایی، مجید؛ ۱۳۸۲. ارزیابی پتانسیل روانگرایی در بخشی از نواحی جنوب شرق تهران. نشریه دانشکده فنی. جلد ۳۷. شماره ۲. شهریور. صص ۲۵۷–۲٦۸.

عسکری، فرج اله؛ دبیری، روزبه؛ کشاورز بخشایش، محمد؛۱۳۸۵. مقایسه ارزیابی پتانسیل روانگرایی با روش‌های مقاومت نفوذ استاندارد(SPT) و اندازه گیری سرعت موج برشی(Vs) در جنوب تهران. ژورنال زلزله شناسی و مهندسی زلزله. سال هشتم. شماره دوم. صص ۹۵–۱۰۳.

قهرمانی، محمود؛ قلندرزاده، عباس؛ مرادی، مجید؛۱۳۸۵. بررسی تأثیر ریز دانه پلاستیک بر مقاومت روانگرایی ماسه اشباع. ژورنال زلزله شناسی و مهندسی زلزله. سال هشتم. شماره دوم. صص ۷۱ – ۸۰.

معماریان، حسین؛ ۱۳۷۷. زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک. انتشارات دانشگاه تهران.

Andrus, R.D., Stokoe K.H., Chung, R.M., 1999. Draft Guidelines for Evaluating Liquefaction Resistance Using Shear Wave VelocityMeasurementsandSimplified Procedures. Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology (NIST), 558-566.
Andrus, R.D., Stokoe K.H. KK. 1997. Liquefacation Resistsnce Based on Shear Wave Velocity. NCEER Workshop on Soil, Technical Report NCEER- 97- 0022. T.L Youd and I.M. idriss, Eds., Jan 4-5 1996, Nat. Ctr. For Earthquake Eng. Res., Buffalo, NY, 89-128.
Askari, F., Kasai, M., 2003. Evaluation of Liquefaction potential in the southern part of East Tehran. Journal of The College of Engineering, Volume 37, Issue 2, 338-345.
Askari, F., Dabiri, R., and Kshavrzbkhshaysh, M., (2006). Comparison of liquefaction assessment using standard penetration resistance (SPT) and measurement of shear wave velocity (Vs) in southern Tehran. Journal of Seismology and Earthquake Engineering, Vol 8, No 2, 888-895.
Barzegari, G., Uromeihy, A., (2006). SPT- Based liquefaction Assessment of Alluvial Foundation at Chapar – Abad Dam, Geoscience Scientific Quarterly Journal, Vol. 17, No. 68, 775-785.
Das, Braja, M., 1997. Principles of Geotechnical engineering.Volume 1 Soil Mechanics. translator Shapur Tahvny, Publications Pars Ayen, Fourth Edition, Autumn 1997.
Esnaashari, M., Baghebanzadeh, A., (2010). The effect of static liquefaction behavior of sand, loose fine paste Plastsyth. 5th National Congress on Civil Engineering. Ferdowsi University of Mashhad, May 04- 06, 2010.
Farrokhzad, F., Choobbasti, A.J., Barari, A., 2012. Liquefaction using Artificial neural networ. Journal of King Saud University Science 24, 89-100
Gahrmani, M., Qlndrzadh, A., and Moradi, M., 2006. Effect of Plastic Fines on Cyclic Resistance of Saturated Sands. Journal of Seismology and Earthquake Engineering, Vol 8, No 2, 550-560.
Hoti, A., Farhadi, A., 2006. Liquefaction Prediction Using Artificial Neural Network. Proceedings of the Ninth Symposium of Geological Society of Iran, Teacher Training University, 2006.
Kayen, R.E., Mitchell, J.K., Seed, R.B., lodge, A., Nishio, S. and Coutinho, R., 1992. Evaluation of SPT-, CPT-, and Shear wave Based Methods for Liquefaction Potential Assessment Using Loma- Prieta Data. Proc. Fourth Japan – U.S. Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures for Soil Liquefacition, Technical Report NCEER-92-0019, M. Hamada and T.D. O’Rourke, Eds., Held 27-29 May, Honolulu, Hawaii, Nat. CTR. For Earthquake Eng. Res. Buffalo. NY, I, 177-204.
Lodge, A.L., 1994. Shear Wave Velocity Measurements for Subsurface Charactrization. Ph.D. Dissertation, University of California. At Berkeley.
Pourkermani, M., Arian, M., 1997. Seismotectonic. Publications Dezab Consulting Engineers co, First Edition.
Pash, H., 2009. Numerical study of liquefaction of alluvial foundation dams under earthquake load. MS Thesis in Civil Engineering - Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tarbiat Modarres University.

Robertson, P.K., Woeller, D.J., and Finn, W.D.L., 1992. Seismic Cone Penetration Test for Evaluating liquefaction Potential Under Cyclic Loading. Canadian Geotechnique. J., 29, 686-695.

Regional Water Organization of East Azarbaijan and Ardabil, Department of Basic Studies of Water Resources, Report Piezometric drilling exploratory wells and adjacent plains Ardabil, 1996.

Regional Water Organization of East Azarbaijan and Ardabil, Department of Basic Studies of Water Resources, Report Piezometric drilling exploratory wells and adjacent plains Ardabil, 2002.

Seed, H.B., and Idriss, I.M., 1971. Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential. J. ofthe Soil Mechanics and Found. Div., ASCE, 97(SM9), 1249-1273.

Soil Mechanics Laboratory Corporation of Ardabil, Series of seismic rehabilitation of schools in the city of Ardabil, Geotechnical studies, 2004 and 2011.